

Mecanización de la recolección de fruta en España

Jaime Ortiz-Cañavate,
Jacinto Gil y Margarita Ruiz-Altisent
Departamento de Ingeniería Rural
Univ. Politécnica
28040 MADRID

1. Introducción

Los cultivos frutícolas, incluido el viñedo, tienen una importancia fundamental en España y su supervivencia radica, entre otros aspectos varietales y de mercado, en el abaratamiento de los costos para lo cual es necesario una mecanización lo más completa posible, incluyendo la de la recolección. La superficie total dedicada en España a estos cultivos es de 4.330.000 ha, de las cuales 260.000 son de cítricos, 670.000 de frutales no cítricos, 1.420.000 de viñedo y 1.980.000 de olivar (ver Tablas 1, 2, 3 y 4).

La recolección de frutos presenta una enorme dificultad para su correcta mecanización. Esta resulta cara, ya que las inversiones tienen que ser elevadas para unos periodos de utilización breves e intensos. Además, la rápida evolución de los sistemas deja obsoletas máquinas que todavía están en perfecto uso. La complejidad del cultivo en cuanto a las formas de los árboles, el tipo de fruto y su situación en el árbol, y su resistencia a cada una de las acciones mecánicas a que son sometidos durante el proceso hacen que las dificultades se multipliquen.

La recolección de fruta viene fuertemente condicionada por la utilización que de ella se va hacer. La fruta para industria tiene resuelto el problema de la recolección mecánica en gran medida, ya que admite cierto nivel de daños. Por el contrario, la fruta destinada al consumo en fresco no debe presentar ningún tipo de daño y esto ha determinado que la recolección se siga haciendo en general de forma manual, si bien esta recolección puede facilitarse por diversos medios estructurales y mecánicos.

El aumento de la productividad de la mano de obra se está consiguiendo por diferentes caminos: Por una parte, se ha aumentado el rendimiento en la recolección gracias a la adopción de formas modernas en los árboles. Por otro lado, la utilización de ayudas mecánicas, tales como las plataformas y las cintas transportadoras, ha reducido considerablemente el tiempo y los costes de recolección y permite, en ciertos casos, mejorar la calidad en el sentido de evitar los daños e incluso clasificar el fruto directamente en el campo.

El Departamento de Ingeniería Rural de la Escuela T. S. de Ingenieros Agrónomos de Madrid está trabajando hace más de 20 años en temas relacionados con la mecanización de la recolección de fruta, incluyendo el viñedo y el olivar. El objetivo de este trabajo es presentar la situación general de la mecanización frutícola en España y mencionar expresamente los trabajos que se realizan o se están realizando en el citado Departamento.

2. Plantaciones frutales de alta densidad

Las plantaciones de frutales pequeños (menos de 2 - 2,5 m de altura) con un marco muy denso (2 x 0,5 ó 1,5 x 0,5 m) tienen algunas ventajas sobre las plantaciones tradicionales de árboles frutales. Para conseguir este pequeño tamaño de los árboles adultos, se deben emplear patrones de poco o mediano vigor y tratar a la plantación con sustancias retardantes del crecimiento tales como Paclobutrazol o Daminozida, las cuales se incorporan al suelo en primavera o se pulverizan directamente sobre los árboles.

Hay experiencias de plantaciones de melocotonero, peral y manzano siguiendo este sistema, teniéndose las siguientes ventajas sobre las plantaciones de árboles de mayor tamaño más distanciados entre sí:

- Rápida entrada en producción. Normalmente, producen una cosecha apreciable al año siguiente de injertar.
- La alta densidad produce un gran sombreado del suelo que limita en parte el crecimiento de malas hierbas.
- Se aprovechan mejor los fertilizantes y el agua de riego.
- Es posible instalar cubierta de plástico o cultivar en invernadero.
- No es necesario colocar postes y alambres para tener una cortina continua de vegetación en la dirección de las líneas de plantas.
- Las tareas manuales tales como poda, aclareo y recolección se realizan desde el suelo.
- En los centros de investigación se pueden comprobar en pocos años las características de nuevas variedades.

A estas ventajas hay que añadir una producción por hectárea elevada, aunque lógicamente la producción por árbol sea pequeña. Sin embargo, en este tipo de plantaciones se ha presentado un grave inconveniente: la ausencia de máquinas capaces de realizar en ellas las labores de cultivo necesarias. La poca anchura de las calles impide que por ellas puedan circular los tractores tradicionales.

La única forma de abordar la mecanización de este tipo de plantaciones es la utilización de tractores zancudos capaces de pasar sobre los árboles llevando las ruedas de ambos lados sobre dos calles diferentes. Existen tractores zancudos que trabajan en el viñedo, y también se construyen algunos para dar labores en el cultivo del maíz y en viveros de árboles, pero es necesario buscar soluciones específicas para la mecanización de las plantaciones de frutales de pequeño tamaño y alta densidad.

La tarea de los investigadores y fabricantes consiste en modificar los tractores zancudos ya existentes para adaptarlos a este tipo de plantaciones, y acoplar a ellos aperos para hacer las siguientes labores: laboreo del suelo, tratamientos fitosanitarios y prepoda. La recolección mecanizada parece por el momento lejos de conseguirse, por lo que habrá que limitarse a dotar a los operarios de medios auxiliares tales como cintas transportadoras, cajones paletizables, etc.

Los tractores zancudos tienen la transmisión hidrostática para que las conducciones de aceite puedan adaptarse a la geometría de la máquina. Su ancho de vía y su altura libre sobre el suelo deben ser regulables para adaptarlos al marco y altura de las plantaciones.

El laboreo del suelo es necesario para eliminar las malas hierbas sin necesidad de recurrir a medios químicos. Se acoplan dos cultivadores a los brazos de enganche que tiene el tractor tras cada rueda trasera, labrando así las dos calles por las que pasan las ruedas del tractor. El apero lleva también rejillas desplazables que labran las líneas ocupadas por los árboles y se retiran hacia el centro de las calles al aproximarse a los troncos, volviendo a la fila de árboles tras rebasarlos. Un palpador situado delante es quien detecta la posición de los troncos y, al chocar con ellos, envía la orden a un sistema hidráulico para que un cilindro retire al brazo móvil de la línea de troncos.

Las gotas que lanzan los pulverizadores convencionales no penetran suficientemente bien en el denso follaje de los frutales pequeños, por lo que es necesario emplear pulverizadores neumáticos para que la corriente de aire arrastre a las gotas pequeñas hasta el interior de la vegetación. Una posibilidad adicional es usar también un sistema electrostático que cargue las gotas con una pequeña carga eléctrica negativa con el objetivo de que sean atraídas por la carga positiva que tienen generalmente las hojas debido a la presencia de sales minerales en la savia. Este tratamiento neumático-electrostático es especialmente recomendable al defender los árboles del ataque de hongos, pues en este caso, dada la poca o nula movilidad de la plaga, hay que tratar uniformemente toda la zona atacada.

La prepoda se realiza con cuchillas situadas en barras de corte especialmente diseñadas para cortar ramas de hasta 2 ó 3 cm de diámetro. Se colocan dos barras de corte en posición vertical, una a cada lado de la fila de plantas, y otra en posición horizontal sobre ellas, de modo que se realiza un corte a modo de seto. El repaso manual se puede hacer con tijeras accionadas por aire, aceite o electricidad; hay tijeras que realizan el corte de forma instantánea tras accionar la palanca de mando, o bien lo hacen de forma progresiva, siguiendo el movimiento de las cuchillas la velocidad con que se mueve el gatillo de mando, e incluso deteniéndose en una posición intermedia si el gatillo también se detiene.

Un aspecto importante a considerar en la recolección es el

manejo de cajas o cajones, por lo que es preciso dejar una calle de mayor anchura (3 - 3,5 m) cada cierto número de calles o que las filas de árboles no sean demasiado largas y estén interrumpidas de trecho en trecho para mover por esos pasillos las cajas. La mejor posibilidad es un sistema de recolección asistida mediante el cual los operarios depositan la fruta en bandas de transporte montadas en el tractor zancudo. El tractor avanza muy lentamente y las cintas transportadoras se elevan por encima de las filas y van a depositar la fruta en un cajón central transportado por el tractor.

Actualmente, todos estos sistemas están en fase de investigación y desarrollo en España, habiendo muy pocas hectáreas plantadas con frutales de alta densidad, debido entre otras causas a no estar todavía resuelta la mecanización de su cultivo.

3. Plataformas de ayuda a la recolección manual

Para los cultivos frutícolas en los que no se ha resuelto aún el problema de la recolección completamente mecanizada, la utilización de las ayudas mecánicas reduce considerablemente la cantidad de mano de obra y el tiempo necesario para la recolección. Las plataformas para la recogida tienen una o más de las siguientes finalidades:

- 1.- Transportar a los operarios.
- 2.- Facilitarles el acceso a todas las partes del árbol.
- 3.- Reducir la fatiga y las pérdidas de tiempo del operario en el trabajo de recogida.
- 4.- Transportar la fruta hasta las cajas o los cajones paletizables.

Utilizando estas plataformas, el operario está en disposición adecuada para la recogida de fruta con dos manos durante el 75-80 por 100 aproximadamente del tiempo total. El rendimiento en tiempo depende de la densidad de la cosecha y del tipo de plataforma utilizada. En función de la densidad de la cosecha, el aumento de la capacidad de trabajo con respecto a la recolección manual con escaleras varía entre un 30 y un 100 por 100.

Podemos clasificar las plataformas en función del número de personas que pueden trabajar sobre ellas en: individuales y múltiples. Las plataformas individuales son más adecuadas para la poda o la recolección de árboles de porte muy alto, ya que no pueden llevar muchas cajas para depositar la fruta. El rendimiento del operario aumenta en un 30 - 60 por 100 con respecto al trabajo con escaleras y cubos. La forma más corriente de montaje es sobre vehículos autopropulsados. Su uso no está muy extendido en España.

Las plataformas múltiples, mucho más utilizadas, son muy variadas. Por lo general, son más adecuadas para plantaciones frutales en seto o en espaldera. Pueden ser remolcadas o

autopropulsadas. Las primeras son más económicas, pero presentan mayores problemas de maniobrabilidad y el tractorista no puede efectuar ninguna otra actividad salvo la de conducción (trabajo no productivo). Las plataformas autopropulsadas van dotadas de un pequeño motor (15 - 30 kW, de gasolina o gasoil), con dos o cuatro ruedas motrices y dos a cuatro ruedas directrices con accionamiento hidráulico. Las hay con una o dos velocidades (corta y larga). Las primeras pueden trabajar de 0 a 10 km/h y suelen estar provistas de una barra de tiro para poderlas desplazar de una parcela a otra con ayuda de un tractor. Las segundas, trabajan de 0 a 30 km/h reduciendo considerablemente los tiempos de traslado entre parcelas. La velocidad de trabajo suele estar comprendida entre 1 y 4 km/h y se debe regular en función de la cantidad de fruta y del número de operarios.

Se adaptan a calles de frutales en seto de 3,5-5,5 m de anchura. La anchura de las plataformas suele ser la misma en todos los modelos con el fin de que en ellas vayan los palets o los palots normalizados, normalmente de 1,20x1,20 m, en los que caben hasta 500 kg de fruta. La longitud de las plataformas es muy variable y ésta es tal, que permite la colocación de, al menos, dos palots en su prolongación delantera y/o trasera. El palot que se está cargando puede elevarse hidráulicamente hasta la altura de la plataforma, permitiendo que se disponga de un cajón más debajo. Algunos modelos disponen de remolque porta-palots con capacidad de 4 - 20 unidades.

En una plataforma múltiple pueden trabajar según su tamaño de 3 a 8 operarios. Estas plataformas a su vez están formadas por "plataformas individuales" para cada operario situadas a distintos niveles. La distancia a los árboles y la altura de esas plataformas puede regularse, según las necesidades de cada momento, hidráulica o manualmente, en cuyo caso disponen de pernos para ser trabadas en la posición deseada.

Las plataformas múltiples más sencillas aumentan el rendimiento de un operario en un 30 - 40 por 100, pero en algunos casos, ésto no compensa la inversión requerida. En la actualidad funcionan en España alrededor de 1.500 plataformas múltiples. Si se desea utilizar una plataforma, ésta debe ser de diseño simple, fácilmente desplazable, que sirva para otros trabajos además de la recolección como pueden ser la poda, los tratamientos y el aclareo y, por último, para plantaciones donde el número de variedades y de especies permite un elevado número de horas de trabajo al año.

Otras plataformas llevan brazos laterales de diferentes medidas donde los operarios van colocando la fruta recogida. Estos brazos desembocan en una cinta principal, de longitud variable, que desemboca en el cajón de fruta.

Tanto el cambio de palots como el funcionamiento del dispositivo de llenado de cajas pueden ser electro-hidráulico o manual. El llenador de palots automático puede ir girando controlado por un sensor electrónico, que va elevando el brazo a medida que el nivel de la fruta va subiendo. Cuando está lleno,

se para solo y, una vez parado, se efectúa el cambio de palot en un tiempo de 12 - 14 segundos, casi sin tocarlo, ya que todo el accionamiento es hidráulico. A estas plataformas se las suele llamar cosechadoras de frutas, aunque no lo son por no realizarse el desprendimiento mecánicamente. Hoy por hoy, es uno de los sistemas mejores para evitar los daños en la recolección semiautomática de frutas. Son capaces de aumentar la capacidad de trabajo del operario hasta en un 100 por 100 (1.500 kg/UHT y día frente a 750kg/UTH y día).

Si calculamos el coste de este tipo de plataformas autopropulsadas sobre un precio de adquisición alrededor de 4 millones de pesetas y haciendo los cálculos oportunos nos encontramos que el umbral de rentabilidad de estas plataformas se encuentra entre los 180.000 a 200.000 kg de fruta recogida por campaña.

4. Mecanización de la vendimia

La recolección de uva para vino en España se está haciendo siguiendo el modelo de máquinas empleadas en Francia, pero con mucho retraso respecto a nuestro país vecino. Mientras en Francia hay un parque de más de 10.000 vendimiadoras, en España, con una superficie de viñedo superior, hay unas 30, aunque en los últimos años se observa un ritmo de crecimiento que hace duplicar el parque cada dos años. Este retraso se explica por razones de diferencias en cuanto al sistema de conducción de las cepas, mayor disponibilidad hasta hace muy poco de mano de obra para hacer la vendimia manual, y desconfianza o incluso ignorancia de los pequeños viticultores respecto al trabajo efectuado por las máquinas de vendimiar.

Está generalizada la creencia de que para mecanizar la vendimia es necesario que las cepas estén conducidas con alambres. Esto no es rigurosamente cierto; la vendimia se puede hacer a máquina sobre cepas en vaso con la condición de que los sarmientos estén dirigidos en la dirección de las líneas, teniendo poca anchura la copa, y que los racimos estén al menos a 30 ó 40 cm sobre el suelo. La conducción con alambres favorece la mecanización de algunas labores, pero quizás ésta no sea una razón suficiente para justificar la instalación de postes y alambres, lo cual sólo se hará si otras razones de tipo fisiológico también lo aconsejan.

Las condiciones generales que debe reunir un viñedo para que la vendimia se pueda mecanizar con eficacia a un coste razonable, independientemente de la presencia o no de alambres son:

- Parcelas de grandes dimensiones, con cabeceras anchas, poca pendiente y ausencia de obstáculos (postes del tendido eléctrico, terreno en terrazas, etc).
- Plantas alineadas, cuya parte aérea forme una cortina casi continua de vegetación de poca anchura.
- Calles con la suficiente anchura libre para permitir el tránsito de las máquinas.
- Racimos concentrados en una banda de poca anchura, estando

su extremo inferior al menos a 30 ó 40 cm sobre el terreno.

Las pocas vendimiadoras que trabajan en España son de origen francés, donde, desde 1988, las varillas sacudidoras que actúan sobre las cepas son curvas para tener mayor longitud de contacto entre varilla y cepa, consiguiendo así el casi total desprendimiento de las uvas sin necesidad de golpear con mucha fuerza los sarmientos. Las varillas curvas, al tratar a las cepas con mayor suavidad, también provocan un menor desprendimiento de hojas que el que provocaban las varillas rectilíneas.

La cantidad de uvas que quedan en las cepas o caen al suelo es casi despreciable, pero las mayores pérdidas de cosecha son las denominadas pérdidas de mosto u ocultas. Estas son las debidas al mosto que se desprende de las uvas rotas, el cual moja en parte las cepas y las hojas que se desprenden junto con la vendimia y que son expulsadas posteriormente por los ventiladores que llevan las máquinas de vendimiar. Estas pérdidas se producen sobre todo en las variedades de uva blanca, por tener el hollejo más fino. Otra característica destacable del trabajo producido por las vendimiadoras es que la mayoría de las uvas se desprenden sueltas, es decir, se separan del raspón o escobajo, el cual permanece en las plantas.

La velocidad de trabajo de estas máquinas es de 1,8 - 2,5 km/h, transitando sobre una línea de plantas. Llevan una tolva con una capacidad variable entre 1000 y 2500 l. La longitud de las líneas no debe ser tan grande que las tolvas se llenen antes de llegar la máquina al final, pues, en tal caso, la máquina debería continuar transitando sobre la línea sin funcionar el mecanismo de vendimia para llegar a la calle donde pueda descargar sobre un remolque.

Las uvas recogidas a máquina deben ser trasladadas rápidamente a la bodega para que empiece el proceso de elaboración antes de que el mosto liberado de las uvas rotas inicie reacciones no deseadas. A veces, será necesario no trabajar durante las horas de más calor para evitar la rápida oxidación del mosto. Los remolques empleados para transportar las uvas deben ser de fondo y paredes herméticas para que no se pierda el mosto libre. Hay algunos modelos con una rejilla intermedia de separación que permite que el mosto descienda hasta el fondo y las uvas enteras y restos de uvas rotas queden encima de la rejilla, evitándose así que el mosto esté en contacto con los hollejos. En general, para la producción de vino tinto no hay problemas y en innumerables catas realizadas no se han encontrado diferencias entre el vino procedente de uvas vendimiadas a mano y las vendimiadas a máquina. Las precauciones habrán de extremarse si las uvas se destinan a la elaboración de vino blanco.

En la explotación debe haber un lugar acondicionado para el lavado diario de la máquina al acabar la jornada de trabajo. Se deben lavar todos los órganos que están en contacto con las uvas y el mosto con un caudal abundante de agua a poca presión para eliminar el mosto antes de que se seque.

5. Vibradores

Los vibradores, desarrollados en principio para la recolección de aceituna y de frutos secos, como la almendra y las nueces, pueden emplearse también para otro tipo de frutos destinados a la industria. Su mayor dificultad radica en la necesaria maduración concentrada que, si en la recolección manual es necesaria y deseable, aquí es imprescindible.

Los vibradores son máquinas de gran rendimiento, que pueden, en buenas condiciones, recolectar de 30 a 60 árboles a la hora e incluso más si se trata de frutos secos. Son máquinas que, mediante sacudidas violentas del árbol, provocan la caída del fruto. Esto obviamente exige que los frutos estén propicios para su escisión del ramo, lo que puede favorecerse por medio de tratamientos adecuados.

Mediante el empleo de vibradores, la productividad de los operarios queda multiplicada por 5, por 10 e incluso por 25. Por tanto, aunque la inversión realizada para adquirirlos es relativamente elevada (por encima de los 2,5 millones de pesetas los montados sobre el tractor, teniendo que añadir el coste horario de éste), es posible amortizarlos en una o dos campañas, debido al coste cada vez más alto de la recolección manual (en 1993 el coste de la aceituna recogida estaba por encima de las 13 pta/kg). Por ello el número de vibradores aumenta de modo ostensible: en 1988 había en España 526 vibradores registrados (en 1987: 411) y en la actualidad (1993) superan las 1.000 unidades.

Existe una gran variedad de métodos de vibración cuya diferencia está en la forma de generar la vibración o en el punto de contacto entre el vibrador y árbol. Actualmente los vibradores de inercia con dos masas excéntricas son los más utilizados de entre todos los sistemas existentes. Las masas giran en sentidos contrarios y a distintas velocidades, produciendo una vibración multidireccional.

Actualmente también existen fundamentalmente en EEUU vibradores autopropulsados que disponen de una gran movilidad y capacidad de trabajo, aunque su coste de adquisición resulta en opinión de numerosos expertos, todavía excesivo para las condiciones españolas.

El enganche al tronco del árbol suele hacerse por medio de pinzas con tacos de goma que abrazan al árbol. El diseño de estas pinzas es fundamental para lograr una perfecta transmisión de las vibraciones al tronco y para evitar los daños en la corteza. Cada tipo de árbol precisa una adecuada vibración para conseguir el mayor número posible de frutos derribados en el menor tiempo posible, sin producir daños en ramas o tronco. Las vibraciones deben ser intermitentes y no deben sobrepasar los diez segundos en cada intento. Para lograr un óptimo desprendimiento de los frutos, hay que obtener un número determinado de direcciones de

vibración. Así, para el desprendimiento de las aceitunas se aconseja producir de 30 a 40 direcciones de vibración y una frecuencia entre 1.300 y 1.600 ciclos/minuto, la amplitud de vibración debe ser de 8-12 mm como mínimo y la potencia hidráulica por encima de 40-50 kW. En general las masas y las velocidades de cada una de las excéntricas deben poder variarse para producir distintas fuerzas y direcciones de vibración, según el tipo de árbol y el fruto a recolectar.

Entre los muchos sistemas diseñados para la recolección de frutos basados en el desprendimiento de éstos por vibración vamos a señalar los más empleados:

- 1.- Vibrador acoplado al tractor y la fruta se deja caer sobre lonas o mallas situadas sobre el suelo de las que después se recoge el fruto.
- 2.- Vibrador autopropulsado que deja caer los frutos sobre el suelo previamente preparado. Posteriormente, se recogen los frutos del suelo con la ayuda de una barredora-recogedora o de unos aspiradores. Normalmente se aplica para frutos secos.
- 3.- Vibrador y remolque recogedor acoplados al tractor. El remolque lleva en su parte lateral una gran lona enrollable que se extiende a mano sobre el suelo antes de empezar a vibrar el árbol. Al vibrar el árbol, los frutos caen sobre la lona, que a continuación se enrolla sobre un cilindro. Los frutos son conducidos a una cinta transportadora colocada en el fondo de la caja del remolque.
- 4.- Cosechadoras autopropulsadas que disponen de vibrador y de paraguas invertido. El fruto vibrado cae en el centro del cono y de aquí se transporta mediante bandas o corriente neumática a unos cajones paletizables o se acumula en un recipiente o tolva debajo del paraguas y se descarga mediante una compuerta inferior a un remolque elevando el conjunto por encima de un remolque.
 Para la almendra existen recolectores integrales montados en tractor con peladora incorporada. Los frutos derribados por el vibrador caen a la tolva inferior y son transportados mediante unos sinfines colocados a ambos lados de la tolva y del tractor a un depósito con capacidad de 1.000 a 1.500 kg situado en la parte trasera del tractor. En el interior de los sinfines unas despellejadoras de bandas de goma, situadas en los sinfines, realizan el pelado de las almendras durante su recorrido por los tubos transportadores. Este tipo de máquina es muy exigente en cuanto al tractor, que tiene que ser de doble tracción y de potencia superior a los 80 CV, y también en cuanto al estado sanitario y vegetativo de la plantación. Los árboles deben estar bien podados y sin ramas secas para que no haya desprendimiento de las mismas al vibrar y se puedan dañar los sinfines peladores.
- 5.- Cosechadoras con vibrador y dos plataformas acolchadas

inclinadas de recogida que cubren entre las dos la superficie de caída o goteo de los frutos del árbol.

En cuanto a los posibles efectos de la vibración sobre el árbol, éstos se pueden manifestar en sus raíces, en su corteza o en su parte aérea. En cuanto a las raíces y a la parte aérea, el efecto del vibrador es poco trascendente (equivalente a un viento de 25 km/h) e incluso beneficioso, ya que se esponja el terreno alrededor de las raíces y las ramitas débiles o enfermas se desprenden.

Los daños en la corteza ocasionados por la pinza de agarre pueden llegar a ser los más importantes. Este tipo de daño se puede originar por un mal diseño de la garra del vibrador, una mala regulación o una mala colocación de la garra.

6. Recolección robotizada

Se están realizando numerosos proyectos de recolección robotizada de frutas y hortalizas en todo el mundo, especialmente en Estados Unidos, Francia, Japón, Israel, Italia y España.

La base fundamental de un robot recogedor es imitar el proceso humano. Debe identificar, localizar, recoger y colocar en el palot el fruto, uno a uno, entero, sin daño, de forma rápida y fiable. Para ello, cuenta con un sistema de visión artificial, un brazo articulado y un mecanismo de prensión. El robot además debe almacenar la fruta y moverse por el campo de una forma automática o semiautomática. La máquina puede estar autodirigida por cuatro telémetros de ultrasonidos. Cuando se detiene delante de un árbol, lo analiza con el sistema de visión y, en su caso, ordena la recolección de los frutos al brazo articulado. Este se posiciona mediante un sistema hidráulico y avanza hasta que el elemento prensil llega al fruto. La fruta se deposita en una cinta transportadora que la lleva hasta el palot.

El sistema de visión artificial debe cumplir dos misiones: detectar los objetos sobre los que se quiere actuar y localizarlos espacialmente. La localización de los frutos se realiza, bien a partir del color, del contorno circular o de la forma esférica.

El brazo articulado está concebido para funcionar dentro del campo de visión del sistema de detección y en el mismo sistema de coordenadas de éste. Una vez que el ordenador ha detectado y seleccionado un fruto, envía una señal de mando al brazo que debe dirigirse hacia el fruto. Para ello debe disponer de un sistema motor, ya sea hidráulico o eléctrico, que le proporcione la energía necesaria para el movimiento.

Dispone de un sensor de posición encargado de verificar ésta y corregirla en cada momento, así como señalar que se ha alcanzado el objetivo. Igualmente se necesitan sensores que indiquen la proximidad de un obstáculo, tal como una rama (para evitar choques que dañen al robot) o un fruto (para no hacerlo

caer al suelo). Es necesario que los brazos sean robustos y de diseño económico.

Al final del brazo existe un mecanismo de prensión, que es el elemento encargado de sujetar, orientar y operar sobre el fruto para su recolección, propiamente dicha. Esta operación ha de realizarse de forma diferente para cada tipo de fruta, pero siempre de una manera rápida, precisa, delicada (para no producir daños) y en las condiciones adecuadas para poder comercializar posteriormente la fruta del árbol, tales como torsión, corte, tracción, rotación y succión.

Uno de los primeros robots de recolección de fruta en el mundo ha sido el "Magali", desarrollado por el CEMAGREF (Francia) para la recolección de manzanas. Este robot se está ensayando desde 1986, aumentando su rendimiento en cada campaña. El sistema de detección emplea una cámara CCD en color. El brazo robotizado es un manipulador de coordenadas esféricas, cuyo origen de coordenadas es el mismo que el del sistema de visión, montado sobre una cinta transportadora que se eleva. El sistema de prensión consiste en un cono de plástico giratorio en cuyo vértice se aplica una aspiración. El vehículo es enteramente autoguiado, gracias a la información del entorno que proporcionan unos telémetros de ultrasonidos situados en los extremos del chasis.

Francia y España tienen un proyecto de investigación EUREKA en colaboración, -el denominado "Citrus-Robot"-, para adaptar el robot "Magali" a la recolección de naranjas y mandarinas. El prototipo español utiliza un sistema de referencia de coordenadas cilíndricas para determinar en cada fruto su altura y distancia al tronco. El elemento prensil está accionado hidráulicamente y actúa en una dirección que forma un ángulo de 30 grados con la dirección del brazo con el fin de realizar el ataque al fruto por la zona polar y no por la ecuatorial. Este robot recoge las naranjas mediante un sistema de aspiración, que garantiza una calidad de la fruta adecuada, con la permanencia del cáliz y un pedúnculo no superior a 5 mm, lo que la hace apta para su ulterior manipulación y almacenaje. Una vez la naranja es recogida, se deposita suavemente en un palot transportado por la misma máquina.

En un primer estudio económico de la máquina se revela que al precio actual pagado por la recolección manual de 5 - 6 pta/kg y que con las previsiones de que es posible llegar a cosechar un fruto en 2 segundos por cada brazo del robot, un robot con dos brazos, que está previsto llegue a costar alrededor de 12 millones de pesetas y que puede trabajar día y noche a razón de 500 kg/hora, puede amortizarse en un tiempo de alrededor de 5 años. La comercialización de estos robots está prevista para el año 1997.

7. Manipulación de los frutos

7.1. Procedimientos de manipulación

La manipulación del material cosechado es una operación básica en la recolección de fruta. El transporte de los productos se realiza en cajas de campo, en cajones paletizables (palots) o en remolques a granel.

A pesar de que las ventajas del palet no son espectaculares, su utilización se ha extendido por su ventajas secundarias:

- a) Trabajo más ligero.
- b) Menos personal.
- c) Reducción de los tiempos muertos.
- d) Mejor utilización del espacio.
- e) Reducción de daños.

Los palots o cajones paletizables, mucho más utilizados que las cajas sobre palets, se manejan por medio de carretillas estibadoras o sobre plataformas de rodillos. Su utilización en el campo agiliza enormemente las operaciones de manipulación. Desde el punto del transporte en la explotación, el empleo de los palots resulta más económico. La inversión inicial que requieren los palots es la mitad, por tonelada de fruta, que la que requieren las cajas de fruta con palets. El ahorro de mano de obra se cifra entre un 5 y un 10 por 100 con los palots respecto a los palets, con una densidad normal de frutos.

La fruta para consumo en fresco recolectada manualmente, tal como se comenta más arriba, y cargada en contenedores, es transportada a una central hortofrutícola en diferentes tipos de vehículos: camiones o tractores con remolque. En la central, los frutos son sometidos a una serie de operaciones, las cuales varían ampliamente entre los diferentes productos, pero que combinan similares tratamientos individualizados:

- Recolección en
 - cubos
 - cajas de campo
 - palots
- Transporte a la central
- Descarga, en seco o en agua
- Lavado
- Encerado
- Tría, eliminación de defectuosos
- Clasificación por calidades, tamaños
- Empaquetado
- Preenfriamiento
- Almacenamiento (frigorífico)
- Transporte a:
 - mercados mayoristas

centros de distribución de supermercados
mercados minoristas
Almacenamiento/exposición en tienda

7.2. Daños mecánicos

Los daños producidos a los frutos durante la recolección, la manipulación y el transporte son causa de una grave reducción de su calidad. La calidad comienza a ser el parámetro principal en los mercados de productos frescos de alto valor, y a su creación (producir calidad, no sólo cantidad!) y conservación (tratar el producto en las condiciones óptimas!) se dedican grandes esfuerzos de investigación y desarrollo en todo el mundo.

En ensayos realizados en mercados detallistas europeos se ha comprobado que más del 80% de las muestras contienen más daños mecánicos que los permitidos a su nivel de calidad (Clases I y II).

Las causas de los daños mecánicos a los frutos son:

- golpes contra contenedores (cajas, cubos), superficies duras de máquinas de manipulación, otros frutos, etc.
- compresiones contra paredes de contenedores, las manos del operario, fondos de cajas, etc.
- impactos pequeños repetidos, y vibraciones, durante el transporte y manejo
- roces contra paredes en máquinas clasificadoras.

Los efectos son las magulladuras: zonas de tejido oscurecido y parcialmente desintegrado bajo la piel de los frutos, visibles o no al exterior, y los arañazos y manchas en el exterior, o incluso heridas en la piel, de mayor o menor profundidad.

Los esfuerzos por mejorar esta faceta de la calidad de los frutos se dirigen en tres direcciones:

- Por un lado, evitar las causas. Para ello, se dota a los equipos de manipulación de frutos de todos los elementos necesarios para que no se produzcan golpes y compresiones: se aplican materiales amortiguadores a todas las superficies; se dota de elementos que suavicen las transferencias entre elementos mecánicos: rodillos, cepillos, suaves rampas con deceleradores. Existen unos "frutos electrónicos" o "SEP" (productos electrónicos simulados) los cuales son capaces de registrar los golpes que se les infringen durante su manipulación junto con los frutos. (Jarén y otros, 1992).

Por otro lado, se estudian las propiedades de los frutos mismos, con el fin de conocer su umbral de susceptibilidad a los diferentes daños mecánicos para no traspasarlo, y de intentar someter a los frutos a las condiciones idóneas para optimizar su resistencia a dichos daños (temperatura, humedad, tratamientos). En el laboratorio de Propiedades Físicas de Productos Agrícolas del Departamento de Ingeniería Rural, se cuenta con sistemas de ensayo de frutos, como la Máquina Universal de Ensayos Instron, para todo tipo de aplicación de cargas estáticas o cuasi-estáticas, a esfuerzos y velocidades regulables, o el impactador, para estudiar la respuesta a impactos controlados, y sus efectos observables.

Finalmente, es necesario contar con dispositivos capaces de medir esos factores de calidad deseados, con el fin de eliminar los frutos de baja calidad, y de clasificar el resto en las clases apropiadas. Para ello se desarrollan actualmente sensores capaces de medir no destructivamente y fruto a fruto propiedades tales como la firmeza (ligada con el nivel de madurez), el tamaño, la forma, daños externos visibles, el contenido en azúcares, el color o los residuos químicos.

7.3. Propiedades físicas

Contacto entre sólidos

Cada tipo de fruto tiene unas características mecánicas específicas, las cuales además varían en función de la especie, la variedad, la madurez y las condiciones ambientales. Pueden distinguirse dos tipos globales o extremos de frutos (Ruiz Altisent, 1991): el sólido elástico/viscoelástico, y la esfera elástica llena de fluido. Pueden ambos representarse con los apropiados modelos, los cuales hacen posible el cálculo de tensiones de rotura y de la distribución de tensiones y deformaciones. Estas predicciones han servido para una aproximación a los diversos problemas de daños mecánicos, tales como la dependencia de la energía aplicada, la distribución de las tensiones máximas, o la importancia de la resistencia de la piel.

Actualmente, la adquisición electrónica de datos posibilita el estudio detallado de la respuesta de cada producto a las diversas cargas estáticas o de impacto, y con ello la predicción y modelización de la susceptibilidad a los daños de cada fruto.

En la línea de desarrollo de sensores se cuenta con sensores de firmeza no destructivos, capaces de sustituir a los destructivos (penetración Magness-Taylor) por impactos pequeños, o por contacto. Parámetros de respuesta: Fuerza máxima (N), deformación máxima (mm), tiempo de contacto (ms), energía absorbida (mJ). (Barreiro y Ruiz-Altisent, 1993; García y Ruiz-

Altisent, 1993).

Resonancia mecánica

Las propiedades de resonancia como respuesta a un pequeño impacto se relacionan con la firmeza de los frutos, y sirven para el desarrollo de sensores de firmeza no destructivos. Constan de un captador electromecánico de vibraciones y un analizador del espectro de frecuencias de resonancia. Parámetros relacionados con firmeza: frecuencia de resonancia, s^{-1} , y el parámetro $m^{2/3} * f^2$ (m = masa del fruto, f = frecuencia de resonancia).

Propiedades ópticas

Las propiedades ópticas, basadas en la respuesta del producto a radiaciones del espectro óptico poseen grandes posibilidades para la medida no destructiva de factores de calidad de frutos. Dentro del espectro óptico, el color dominante y su distribución son los parámetros fundamentales, hoy ya aplicables a máquinas clasificadoras. El análisis del espectro óptico ha dado resultados en la discriminación precisa de niveles de madurez en diversos frutos (García y otros, 1992). En el área infrarroja cercana del espectro, la respuesta del producto sirve para determinar algunos aspectos de su composición.

Análisis de imagen

El estudio de la imagen del producto recogida por cámaras de vídeo ofrece múltiples posibilidades de detección de factores de calidad externa de los frutos de cualquier tipo: tamaño, forma, magulladuras, daños por enfermedades, heridas, etc. son detectadas fruto a fruto por medio de esta técnica. El análisis de imagen sirve también como medio de adquisición de datos partiendo de imágenes obtenidas por medio de otras técnicas (rayos X, resonancia magnética nuclear) o para analizar espectros de color.

Bibliografía.

Arnal, P. 1993. "Plataformas para la recolección de fruta" HF-Hortofruticultura (4) 3 pp. 48-50.

Barreiro P. y M. Ruiz Altisent. 1993. "Susceptibilidad a magulladura en frutos de pepita bajo distintas cargas y condiciones de almacenamiento". V Congreso Nnal. de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas (SECH) y II Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas. Zaragoza, 26-29 Abril 1993.

García J.L. y M. Ruiz Altisent. 1993. "Efectos de las

características de piel y pulpa sobre la respuesta al impacto y la magulladura en frutos de pepita en relación con factores de cultivo". V Congreso Nnal. de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas (SECH) y II Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas. Zaragoza, 26-29 Abril 1993.

Gil, J.; J. Ortiz-Cañavate; A. Chipriana y G.M. da Silveira 1992. "Mecanización de las plantaciones frutales de alta densidad" 24 Confª Internacional de Mecanización Agraria. FIMA. Zaragoza pp. 325-330.

Jarén, C. 1992. "Maquinaria para la recolección de frutas" MT- Máquinas y Tractores Agrícolas (3) 9 pp. 60-64.

Jarén, C.; G. Anderson; M. Ruiz y A. Muir. 1992. "Detección de impactos con frutos electrónicos". MT - Máquinas y Tractores Agrícolas (3) 9, pp. 65-68.

Ortiz-Cañavate, J. 1993. "Las máquinas agrícolas y su aplicación" Ed. Mundi-Prensa. Madrid 4ª Ed. 467 págs.

Ortiz-Cañavate, J.; M. Ruiz y J. Gil 1984. "Actual State of the Mechanization of Harvest of Fruits and Vegetables in Spain" ASAE paper nº 84-1072.

Ortiz-Cañavate, J.; J. Gil y E. Morales 1992. "Desing and Testing of a wrap-around shaker harvester of olives" Ag Eng 92 - Uppsala (Suecia).

Ortiz-Cañavate, J.; J. Gil y M.A. de Gregorio 1990. "Mecanización del viñedo en espaldera" VV - Vitivinicultura (1) 6 pp. 42 - 48.

Rallo, J. y B. Pizá 1993. "La recolección mecanizada del almendro". HF - Hortofruticultura (4) 3 pp. 52-56.

Ruiz Altisent M. 1991. Damage Mechanisms in the handling of fruits. Capítulo del Libro "Progress in Agricultural Physics and Engineering". pp 231-257 Ed. J. Matthews. CAB International, 1991.

* * *

Tabla 1.- CITRICOS: Superficies y producciones en España. Campaña 1989-90

Cultivos	Superficie en plantación regular (ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (t)	Destino de la producción		
				Exportación (t)	Consumo interno fresco (t)	Transfor- mación (t)
GRUPO HAVEL						
-HAVELINA	53.508	23.694	1.162.792	609.236	484.256	69.300
-HAVEL	36.722	22.442	800.685	267.317	501.133	32.235
-HAVALATE	6.376	17.627	88.474	16.141	72.333	-
BLANCAS SELECTAS						
-SALUSTIANA	8.550	24.013	190.392	72.982	111.199	6.211
-OTRAS BLANCAS SELECTA	3.518	18.104	56.254	657	29.523	26.074
					21.708	19.197
BLANCAS COMUNES	3.300	10.640	40.905	-	7.181	3.113
SANGUINAS	959	17.820	16.872	6.578		
TARDIAS					40.830	4.225
-VERNA	3.872	12.076	46.059	1.004	216.236	2.850
-VALENCIA LATE	18.774	17.850	273.688	54.000		
NARANJO TOTAL	135.579	21.508	2.676.121	1.027.917	1.484.999	163.205
NARANJO AMARGO	1.559	9.156	13.580	7.093	-	6.487
-SATSUMA	17.260	30.755	484.923	271.890	53.877	159.156
-CLEMENTINAS	51.717	20.109	922.755	557.013	345.942	19.800
-OTRAS MANDARINAS	4.310	15.044	45.328	34.143	11.185	-
MANDARINO TOTAL	73.287	22.476	1.453.006	863.046	411.004	178.956
-BERNA	27.817	13.440	362.427	248.274	57.225	56.928
-MESERO	20.389	12.823	243.158	160.816	48.382	33.960
-OTROS LIMONES	1.380	10.799	19.704	6.210	11.695	1.799
LIMONERO TOTAL	49.586	13.118	625.289	415.300	117.302	92.687
POMELO	1.449	17.517	22.190	6.026	14.364	1.800
LIMERO Y OTROS CITRICOS	72	4.212	413	-	413	-
TOTAL CITRICOS	261.532	-	4.790.599	2.319.382	2.027.335	443.882

Tabla 2.- FRUTALES NO CITRICOS: Superficies y producciones en España 1989

Cultivos	Superficie en plantación regular			Rendimiento		Producción (t)
	Secano (ha)	Regadío (ha)	Total (ha)	Secano (kg/ha)	Regadío (kg/ha)	
** FRUTALES DE PEPITA :						
-Manzano para sidra			10.228			62.723
-Starking			10.364			168.916
-Golden delicious			21.856			409.245
-Otras var. manzano			14.346			169.109
MANZANO TOTAL	15.900	40.894	56.794	5.203	17.100	809.993
-Limonera			5.083			112.816
-Ercolini			5.611			81.471
-Blanquilla			9.089			157.488
-Otras var. de peral			14.479			196.395
PERAL TOTAL	1.407	32.855	34.262	4.898	16.684	548.171
MEMBRILLERO	61	722	783	2.229	11.376	11.735
NISPERO	37	3.824	3.861	3.476	7.872	30.201
ACEROLO, SEBAL Y OTROS		36	36		1.482	259
**FRUTALES DE DUESO :						
ALBARICOQUERO	5.184	19.693	24.877	4.492	7.993	164.965
CEREZO Y GUINDO	18.339	5.381	23.720	2.400	3.471	64.672
MELOCOTONERO	8.005	66.392	74.397	5.333	11.910	765.900
CIRUELO	8.074	13.502	21.576	2.320	9.723	143.208
**OTROS FRUTALES DE FRUTO CARNOSO :						
HIGUERA	19.279	841	20.120	1.607	6.856	49.064
CHIRIMOYO	1	2.803	2.804	0	11.666	29.021
GRANADO	36	2.136	2.172	2.040	6.445	12.510
AGUACATE	2	7.819	7.821	2.290	7.737	46.222
PLATANERA	0	9.353	9.353	0	42.372	396.492
PALMERA DATILERA	28	591	619	3.769	18.600	9.787
CHUNBERA	3.028	22	3.230	5.433	10.124	23.094
AGUFALPO, KINI Y OTROS	158	2.246	2.404	3.389	10.921	22.127
**FRUTALES DE FRUTO SECO :						
ALMONDO (cáscara)	568.804	45.289	614.093	440	1.607	324.517
NOGAL (cáscara)	1.195	997	2.192	1.764	1.717	9.329
AVELLANO(cáscara)	18.766	14.118	32.884	508	1.101	24.668
TOTAL FRUT. NO CITRI.	668.484	269.514	937.998			3.485.935

Tabla 3.- VIÑEDO: Superficies y producciones en España.
Campaña vitícola 1.989-90

Cultivos	Superficie en plantación regular			Rendimiento Sup. en producción		Producción (t)
	Secano (ha)	Regadío (ha)	Total (ha)	Secano (kg/ha)	Regadío (kg/ha)	
**VIÑEDO DE UVA DE MESA						
-Uva de mesa exportable (*)	16.755	24.540	41.295	4.397	11.618	340.049
-Uva de mesa no exportable	21.480	772	22.252	3.677	8.809	83.778
VIÑEDO DE UVA DE MESA TOTAL	38.235	25.312	63.547	3.982	11.531	423.827
**VIÑEDO DE UVA DE TRANSFORMACION						
-En cultivo único	1.319.516	26.544	1.346.060	3.351	5.401	4.447.613
-En cultivo asociado	61.469	2.273	63.742	2.516	4.237	162.232
VIÑEDO DE UVA TRANSF. TOTAL	1.380.985	28.817	1.409.802	3.314	5.308	4.609.845
TOTAL VIÑEDO	1.419.220	54.129	1.473.349			5.033.674

(*) Variedades: Ohanes, Aledo, Napoleón, Cardinal, Rossetti, Chasselas, Chelva y otras.

Tabla 4.- OLIVAR: Superficies y producciones en España. Campaña 1989-90

Cultivos	Superficie en plantación regular			Arboles diseminados Núm.	Rendimiento			Producción (t)
	Secano (ha)	Regadio (ha)	Total (ha)		De la superficie en producción		En árboles diseminados (kg/árbol)	
					Secano (kg/ha)	Regadio (kg/ha)		
OLIVAR DE ACEITUNA DE MESA	171.310	19.661	190.671	624.541	1.427	2.858	7	284.394
OLIVAR DE ACEITUNA DE ALMAZARA	1.808.661	99.481	1.908.141	2.364.475	1.326	2.937	10	2.945.645
TOTAL OLIVAR	1.979.671	119.141	2.098.152	2.989.016	-	-	-	2.945.645